

# Fortschritt-Berichte VDI

Reihe 1

Konstruktionstechnik/  
Maschinenelemente

Dipl.-Ing. Holger Arndt,  
Dresden

Nr. 345

**Auslegung  
und Bewertung von  
Vorschubantrieben  
mit Spindel-Mutter-  
Systemen**

**VDI Verlag**

# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGEN UND FORMELZEICHEN</b>	<b>VII</b>
<b>1 EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Stand der Technik</b>	<b>2</b>
1.1.1 Einsatzbereiche verschiedener Vorschubmechanismen	3
1.1.2 Komponenten geregelter elektromechanischer Bewegungssysteme	8
1.1.2.1 Antrieb	9
1.1.2.2 Mechanisches Übertragungssystem	10
1.1.2.3 Meßsystem	14
1.1.2.4 Regelung	14
1.1.3 Vorgehensweise und Werkzeuge für die Gestaltung und Dimensionierung von Vorschubachsen	17
1.1.4 Ermittlung und Bewertung der Achseigenschaften	20
1.1.4.1 Geometrisch-kinematisches Verhalten	20
1.1.4.2 Dynamisches Verhalten	21
1.1.4.3 Bearbeitungstests	22
<b>1.2 Einordnung und Ziele der Arbeit</b>	<b>22</b>
<b>2 AUSLEGUNG VON VORSCHUBANTRIEBEN MIT SPINDEL-MUTTER-SYSTEMEN</b>	<b>24</b>
<b>2.1 Auslegung nach statischen und energetischen Kenngrößen</b>	<b>25</b>
2.1.1 Auswahl von Spindelsteigung und Getriebeübersetzung	25
2.1.1.1 Optimale Spindelsteigung des Direktantriebes	26
2.1.1.2 Optimum von Spindelsteigung und Übersetzungsverhältnis für Vorschubantriebe mit Getriebestufe	28
2.1.2 Entscheidungshilfen für die Wahl der Antriebsart	31
2.1.3 Abschätzung der erreichbaren Axialsteifigkeit	38
2.1.4 Ermittlung der zulässigen Knicklast	42
2.1.5 Aufbau eines Modells zur Ermittlung der zulässigen Axialbelastung für Stabachs-Konstruktionen	48
<b>2.2 Lineare Dynamik</b>	<b>58</b>
2.2.1 Ermittlung der biegekritischen Drehzahl	58
2.2.2 Aufbau eines Modells zur Abschätzung der biegekritischen Drehzahl von Stabachs-Konstruktionen	64
2.2.2.1 Näherungsverfahren für die Abschätzung von Eigenfrequenzen	66
2.2.2.2 Aufbau des Näherungsmodells	68
2.2.2.3 Vereinfachungen und Parameterbestimmung	69
2.2.2.4 Berechnung der Teilfrequenzen	75
2.2.2.5 Verifikation des Näherungsmodells	78
2.2.3 Eigenschwingungen der Gesamtstruktur	86
2.2.4 Wirkung der Eigenschwingungen beim Resonanzdurchgang	91
<b>2.3 Auslegung unter Berücksichtigung nichtlinear-dynamischer Eigenschaften</b>	<b>99</b>
2.3.1 Vorinbetriebnahme des Kaskadenreglers	99
2.3.2 Reaktion auf eine äußere Störung	102
2.3.2.1 Ermittlung der Störsteifigkeit	103
2.3.2.2 Ermittlung der Ausregelzeit	109
2.3.3 Ermittlung der kleinsten ausführbaren Schrittweite	115

---

2.3.3.1 Modellbildung	117
2.3.3.2 Ermittlung von Motordrehgeschwindigkeit und Bewegungsbeginn bei direkter Lagemessung	120
2.3.3.3 Ermittlung von Motordrehgeschwindigkeit und Bewegungsbeginn bei indirekter Lagemessung	123
2.3.3.4 Drehzahlkriterium - Abschätzung des Ausschwingverhaltens	126
2.3.3.5 Ermittlung der Schlittenbewegung	128
<b>3 VERIFIKATION DER MODELLE</b>	<b>138</b>
<b>3.1 Vergleichende Analyse von Vorschubsystemen mittels Simulation</b>	<b>138</b>
3.1.1 Referenzmodell einer lagegeregelten Vorschubachse mit Kugelgewindetrieb	138
3.1.2 Experimentelle Versuchsbasis - Abgleich des Referenzmodells	140
<b>3.2 Vergleich der Näherungslösungen mit der Simulation</b>	<b>142</b>
3.2.1 Reaktion auf eine äußere Störung	144
3.2.2 Ermittlung der kleinsten ausführbaren Schrittweite	148
3.2.3 Sensitivitätsanalyse	156
<b>4 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG</b>	<b>158</b>
<b>4.1 Kostenschätzungen für Einzelkomponenten</b>	<b>158</b>
<b>4.2 Wirtschaftliche Bewertung konstruktiver Alternativen</b>	<b>162</b>
<b>5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK</b>	<b>163</b>
<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>165</b>